

Die Anwendung des Magnetbandverfahrens zur Registrierung elektrischer Meßwerte von Messungen an Landmaschinen

Landmaschinen unterliegen während des praktischen Einsatzes vielfältigen dynamischen Belastungen, hervorgerufen durch zeitlich veränderliche Arbeitswiderstände, Fahrbahnunebenheiten und innere Erregungen. Zur Messung der dynamischen Belastungen sind mechanische Meßgeräte infolge ihrer Trägheit nur bedingt geeignet. Man verwendet deshalb in breitem Maße elektrische Meßeinrichtungen zur Untersuchung der zeitlich sich ändernden Größen.

Der Geber einer elektrischen Meßeinrichtung (Dehnmeßstreifen, induktiver Geber, kapazitiver Geber, Tauchspule u. a.) nimmt die mechanische Meßgröße auf und formt sie in einen dem Meßwert proportionalen elektrischen Wert (Strom) um. Dieser wird im Verstärker verstärkt und in einem Registriergerät (meist einem Schleifenzillograph) registriert. Als Ergebnis erhält man einen auf einem Registrierpapierstreifen aufgezeichneten Meßschrieb, der den Verlauf des Meßwertes wiedergibt.

Werden kurzzeitige Messungen durchgeführt, so bedient man sich zur Auswertung der relativ kurzen Meßschriebe in der Hauptsache manueller Verfahren — unter Anwendung von einfachen Hilfsmitteln wie Handplanimeter, Vordruckpapier u. a. — auch dann, wenn eine statistische Auswertung [1] erforderlich ist.

Liegen lange Meßschriebe vor, wie sie beispielsweise aus Betriebsmessungen resultieren, dann wird die manuelle Auswertung zu langwierig und zeitraubend. In diesen Fällen ist es notwendig, Auswertgeräte einzusetzen, die eine Beschleunigung der Auswertung ermöglichen.

1. Einrichtungen und Verfahren zur mechanisierten und automatischen Auswertung von Meßwerten

1.1. Mechanisch-elektrische Auswertgeräte

Das einfachste Verfahren zur mechanisierten Auswertung von Meßschrieben besteht in der Anwendung eines Planimetriergerätes (Scheibenplanimeter), mit dem der Mittelwert einer Messung durch Planimetrieren der Fläche unter der Meßkurve bestimmt werden kann. Die Forderung nach statistischen Auswertungen, die notwendig sind, um geeignete Aussagen über die auftretenden Beanspruchungen (Lastkollektive) und die Betriebsfestigkeit der Bauteile zu erhalten, führte zur Entwicklung von Zählgeräten, die mit den Scheibenplanimetern gekoppelt wurden. Die so entstandenen Auswertgeräte [2] [3] gestatten die Bestimmung des Mittelwertes und der Häufigkeitsverteilung bzw. der Summenhäufigkeit einer Meßgröße. Als Nachteil dieser Geräte ist anzusehen, daß die Abtastung des Kurvenverlaufs der Meßschriebe mit einem von Hand nachzuführenden Zeiger erfolgt und somit noch einen erheblichen Bedienungsaufwand erfordert.

Im Hinblick auf die Möglichkeiten einer automatischen Auswertung von Meßschrieben — wie sie für statistische Auswertungen angestrebt werden müssen — haben die konventionellen Verfahren der elektrischen Messung mechanischer Größen den Nachteil, daß die vom Geber abgegebene elektrische Größe durch die Registrierung z. B. auf Zillographenpapier wieder in eine mechanische Größe, der graphischen Aufzeichnung, zurückverwandelt wird. Die Automatisierung der Auswertung solcher Meßschriebe scheidet z. Z. noch an dem Problem der selbsttätigen Abtastung der Meßkurve.

1.2. Elektronische Klassiergeräte

Die Automatisierung statistischer Auswertungen von Versuchsergebnissen ist unter Umgehung der obengenannten Schwierigkeit möglich geworden durch den Einsatz von elektronischen Klassiergeräten und die Anwendung des Magnetbandverfahrens zur Speicherung elektrischer Meßwerte. In den Fällen, in denen eine statistische Auswertung einer mit zufälligen Abweichungen behafteten Meßgröße, deren Verlauf für die Beurteilung nicht von Interesse ist, gewünscht wird, kann man auf jegliche Registrierung der Meßwerte verzichten und die elektrischen Meßwerte während der Messung vom Verstärker unmittelbar einem Klassiergerät zuführen. In dem Klassiergerät werden die Versuchswerte so verarbeitet, daß man als Ergebnis die Summenhäufigkeit oder die Häufigkeits-

verteilung der Meßwerte in den einzelnen Klassen erhält. Bei Anwendung dieser direkten Klassierung bekommt man sofort nach dem Versuch das summierte Meßergebnis. Eine Kontrolle ist nur durch Wiederholung der Messung möglich.

1.3. Elektronische Speichergeräte

Der Einsatz des Magnetbandverfahrens zur Meßwertspeicherung ist für Meßaufgaben besonders vorteilhaft, bei denen neben der statistischen Verteilung der Verlauf der Meßgröße von Interesse ist. Die Kenntnis des Verlaufs der Meßgröße ist Voraussetzung, um die Art der Änderung der Meßgröße (harmonisch, periodisch, unregelmäßig), das Auftreten von Schwingungen und deren Frequenzen, die Reihenfolge der Spitzenwerte u. a. feststellen zu können. Die Erfassung von Besonderheiten ist notwendig insbesondere für Messungen, bei denen während des Einsatzes zu beliebigen Zeitpunkten besondere extreme Belastungen, Bewegungen oder dergl. auftreten können (z. B. Verdichtungsschwellen bei der Bodenbearbeitung, Trommelwickler während des Mähdreschereinsatzes, Zusammenballungen in der Zuführung von Dreschgut zur Dreschtrommel, Siebverstopfungen bei Kartoffelvollerntemaschinen u. a.).

Das Magnetbandverfahren wird im Bereich der Wissenschaft und Technik — besonders im Ausland — bereits vielfältig eingesetzt. Genannt sei die Anwendung in der Medizin zur Registrierung von Elektrokardiogrammen, in der Steuer- und Regeltechnik zur Steuerung von bestimmten, nach einem vorgegebenen Programm ablaufenden Vorgängen, in der Energiewirtschaft zur Störungsaufzeichnung in Energieversorgungsnetzen, in der Meßtechnik zur Speicherung von Meßwerten.

In der DDR hat das Magnetbandverfahren noch keinen Eingang in den Bereich des technischen Meßwesens gefunden. Auf Grund der Vorteile, die das Verfahren für die Messung und die Auswertung der Meßergebnisse bietet und der Tatsache, daß es bisher nicht genutzt wurde, war es notwendig, die Anwendungsmöglichkeiten des Magnetbandverfahrens zur Speicherung elektrischer Meßwerte besonders aus Betriebsmessungen an Landmaschinen zu prüfen. Dementsprechende Untersuchungen, über die nachfolgend berichtet wird, sind in den Jahren 1960/61 im Institut für Landmaschinentechnik der TU Dresden durchgeführt worden.

2. Physikalische Grundlagen des Magnetbandverfahrens

Das Verfahren der Magnetbandaufzeichnung beruht auf der Umwandlung der zu registrierenden elektrischen Größe mit Hilfe eines Magnetkopfes in eine magnetische Größe und deren Speicherung auf einem magnetisierbaren Träger, dem Magnetband. Die Wiedergabe der Aufzeichnung erfolgt durch Rückverwandlung der magnetischen Größe in eine elektrische Größe.

Der aufzuzeichnende elektrische Strom wird über einen Aufnahmeverstärker den Wicklungen des Aufnahmekopfes A (Bild 1) zugeführt. Dieser Strom erzeugt im Kern des Magnetkopfes einen magnetischen Fluß, der am Spalt des Kopfes austritt und sich im vorbeigleitenden Magnetband schließt. Im Magnetband wird dabei ein remanenter Magnetismus hervorgerufen. Beim Wiedergabevorgang schließen sich die aus dem Band austretenden magnetischen Feldlinien im Kern des Wiedergabekopfes W; in den Wicklungen des Kopfes wird eine der Flußänderung proportionale Spannung induziert, die verstärkt und entzerrt vom Wiedergabeverstärker des Magnetbandgerätes abgegeben wird.

Verwendet man zur Aufzeichnung ein bereits magnetisiertes Magnetband, so muß vor der Aufnahme die vorhergehende Magnetisierung gelöscht werden. Dies geschieht durch den mit einem hochfrequenten Wechselstrom gespeisten Löschkopf L, der die Magnetschicht entmagnetisiert.

Bei den wichtigsten Methoden der elektrischen Messung mechanischer Größen (Messung mit Dehnmeßstreifen, induktive Messung) verwendet man das Trägerfrequenz-Verfahren zur Umwandlung und Übertragung der Meßwerte. Im Wandler der Meßanlage wird die Trägerfrequenz, die mindestens das Dreifache der höchsten Betriebsfrequenz betragen soll, amplitudenmoduliert, d. h. die Schwingungsamplituden der Trägerwechselspannung werden entsprechend der Meßgröße ver-

* Technische Universität Dresden, Institut für Landmaschinentechnik (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. GRÜNER)

ändert. Bei Anwendung des Trägerfrequenzverfahrens ergibt sich der große Vorteil, daß die amplitudenmodulierte, auf einen bestimmten Wert verstärkte Trägerfrequenz unmittelbar auf dem Magnetband registriert werden kann. Damit sind Aufzeichnungen von der Nutzfrequenz Null bis zur höchsten Nutzfrequenz, die von der Trägerfrequenz bestimmt wird, möglich.

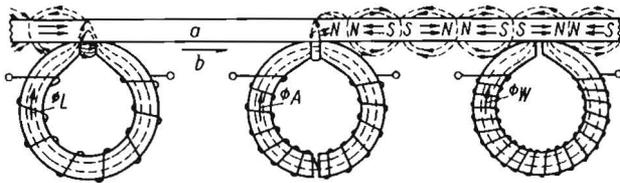


Bild 1. Prinzip der magnetischen Aufzeichnung (entnommen aus [5]); a Magnetband, b Laufrichtung

Neben der Amplitudenmodulation ist als weitere Modulationsart die Frequenzmodulation zur Registrierung auf Magnetbändern anwendbar. Generell kann gesagt werden, daß das Frequenzmodulationsverfahren hinsichtlich des Geräteaufwands anspruchsvoller ist als das Amplitudenmodulationsverfahren. Bei Verwendung der zur Zeit gebräuchlichen, für Amplitudenmodulation eingerichteten Meßmittel wäre eine Umwandlung der Amplitudenänderungen der Trägerfrequenz in Frequenzänderungen und umgekehrt notwendig. Dadurch würde der elektrische Teil weiter kompliziert werden.

Auf weitere Vor- und Nachteile beider Modulationsarten in bezug auf das Magnetbandverfahren wird später noch hingewiesen.

3. Eigenschaften der Magnetbänder

Aufbau: Die in der DDR hergestellten Magnetbänder werden als Zweischichtbänder ausgeführt. Ein solches Band besteht aus einem unmagnetischen Träger (PVC) und einer dünnen, magnetisierbaren Schicht, in der die magnetisierbaren Teilchen eingebettet sind. Die Dicke der Magnetschicht beträgt 10 bis 15 μm .

Abmessungen: Die Magnetbänder werden in der Normbreite von 6,25 mm geliefert. Der VEB Filmfabrik AGFA Wolfen stellt darüber hinaus Magnetonfilme von 35 mm Breite her. Nach Sondervereinbarungen ist es auch möglich, Bänder in den Breiten 12,5 bzw. 18,75 mm zu beziehen.

Bandsorten: Die AGFA-Magnetbänder wurden zur Zeit der Untersuchung mit zwei verschiedenen magnetisierbaren Schichten hergestellt, dementsprechend unterscheidet man die Typen C und CH. Der Unterschied zwischen den beiden Bandsorten besteht darin, daß das für den Typ CH verwendete Eisenoxypulver eine größere Remanenz und eine höhere Koerzitivkraft besitzt als das Pulver für den Typ C. Dadurch wird bei den CH-Bändern eine höhere Empfindlichkeit und ein besserer Frequenzgang (Verlauf der Höhe der Ausgangsspannung in Abhängigkeit von der Frequenz des aufzeichneten Signals) erreicht. Eine weitere Verbesserung in dieser Richtung wird mit den Bändern der neuen Typen CR und CG erzielt.

4. Anforderungen an das Magnetband

Bei der Anwendung des Magnetbandes zur Speicherung von elektrischen Meßwerten sind folgende Anforderungen an das Magnetband zu stellen:

1. gute mechanische Eigenschaften der Trägerschicht: Hohe Zugfestigkeit, geringe Dehnung, Unempfindlichkeit gegen Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen, gute Schmiegsamkeit und möglichst glatte Oberfläche der Trägerschicht;
2. hohe Gleichmäßigkeit der magnetisierbaren Schicht über die gesamte Bandlänge zur Gewährleistung einer möglichst konstanten Wiedergabespannung bei vorheriger Magnetisierung mit einer konstanten Wechselspannung;
3. Homogenität in der Art und Verteilung der ferromagnetischen Teilchen innerhalb der magnetischen Schicht zur Herabsetzung der Störmodulation;
4. glatte Oberfläche der magnetischen Schicht zur Erzielung einer guten Kontaktgabe zwischen Band und Magnetkopf.

Die Einhaltung dieser Forderungen ist Aufgabe des Herstellerwerkes und kann vom Verbraucher nicht beeinflusst werden.

Es ist erforderlich, zur Registrierung von Meßwerten nur einwandfreie, in bezug auf Gleichmäßigkeit der magnetisierbaren Schicht besonders geprüfte und ausgesuchte Magnetbänder zu verwenden.

5. Anforderungen an das Magnetbandgerät

Die im Handel erhältlichen Magnetbandgeräte sind wegen ihrer niedrigen Bandgeschwindigkeiten und der Auslegung für Sprach- und Musikaufnahmen zur Speicherung von Meßwerten nicht geeignet. Zur Durchführung der Untersuchungen wurde am Institut für Landmaschinenbau ein Magnetbandgerät gebaut, das den Forderungen hinsichtlich der Aufzeichnungsgüte der Meßwerte besser gerecht wird.

Das Magnetbandgerät für den Einsatz zu Meßzwecken ist grundsätzlich so aufzubauen, daß eine möglichst unverfälschte Wiedergabe des Eingangssignals erzielt wird. Im einzelnen ergeben sich folgende Forderungen

an den mechanischen Teil:

- geringe Geschwindigkeitsschwankungen des Magnetbandes
- geringe Höhengschwankungen und geringer Schräglauf des Bandes beim Vorbeigleiten am Magnetkopf
- symmetrische Anlage des Magnetbandes am Magnetkopf
- gleichmäßiger Anpreßdruck des Bandes am Spiegel des Magnetkopfes
- einwandfreie senkrechte Einstellung der Kopfspalte bei Verwendung eines getrennten Aufnahme- und Wiedergabekopfes
- geringe Abmessungen des Magnetbandgeräts
- guter Staubschutz bei praktischen Messungen auf dem Feld
- niedrige Leistungsaufnahme des Magnetbandgeräts;

an den elektrischen Teil:

- lineare Verstärkung
- Kleinhaltung nichtlinearer Verzerrungen
- Abschirmung auftretender Störfelder
- Kompensation von Störungsspannungen
- Einhaltung des günstigsten Vormagnetisierungsstroms.

Welche Maßnahmen getroffen werden können, um den genannten Forderungen beim Bau eines Meßmagnetbandgeräts zu entsprechen, ist in [4] im einzelnen dargelegt.

6. Auswahl und Prüfung der Magnetbänder

Die üblichen im Handel erhältlichen Magnetbänder weisen erhebliche Schwankungen des remanenten Bandflusses auf und sind deshalb für die Registrierung von Meßwerten nicht geeignet. Für die am Institut für Landmaschinenbau durchgeführten Untersuchungen wurden deshalb vom VEB AGFA Wolfen geprüfte und auf Gleichmäßigkeit des remanenten Bandflusses besonders ausgesuchte Magnetbänder vom Typ CH bezogen. Einige dieser Magnetbänder wurden auf die Gleichmäßigkeit ihrer magnetischen Eigenschaften nochmals kontrolliert.

Die Überprüfung dieser Magnetbänder erfolgte auf einem Studio-Magnetbandgerät SJ 100 (Sander & Jansen, Berlin) in Verbindung mit einem Pegelschreiber Typ 2304 (Brüel & Kjaer, Kopenhagen) zur Registrierung der Wiedergabespannung. Die Bänder wurden mit einem konstanten 5-kHz-Wechselstrom — entsprechend der für die Messungen verwendeten Trägerfrequenz — bei einer Bandgeschwindigkeit von 38 cm/s vollspurig magnetisiert. Bei der mit dem Pegelschreiber registrierten, demodulierten Wiedergabespannung weist der Verlauf der Amplituden zwar kurzzeitige Schwankungen auf, bleibt jedoch über der gesamten Bandlänge annähernd konstant.

Bei einem mittleren Ausschlag von 50 mV betragen die kurzzeitigen Abweichungen maximal $\pm 3\text{ mV}$ oder $\pm 6\%$ vom Mittelwert. Darüber hinaus treten vereinzelte starke Spannungsabfälle auf, die auf kurzzeitige Abhebungen des Bandes vom Magnetkopf infolge von Staubteilchen, Narben an der Schichtoberfläche oder sog. „Löcher“ in der Magnetschicht zurückzuführen sind. Es kommt aber nicht vor, daß derartige Spitzen in positiver Richtung, d. h. als kurzzeitige Spannungserhöhungen auftreten. Dadurch ist gewährleistet, daß bei der Aufnahme und Wiedergabe von Meßwerten keine zu hohen Spitzenwerte vorgetäuscht werden [6].

7. Untersuchung der mit der Magnetbandspeicherung zu erreichenden Meßgenauigkeit

Mit der Versuchseinrichtung Magnetband — Versuchsmagnetbandgerät wurden Messungen durchgeführt, mit welcher Genauigkeit bzw. mit welchen Fehlern die vorher aufgegeb-

nen Prüfwerte (5-kHz-Wechselspannung mit konstanter Amplitude) wiedergegeben werden.

In Abhängigkeit von der Bandgeschwindigkeit wurden für die Halbspuraufzeichnung die lang- und kurzzeitigen Schwankungen der Wiedergabespannung gemessen.

Die langzeitigen Veränderungen (über die gesamte Bandlänge) wurden an einem Millivoltmeter am Ausgang des Magnetbandgeräts in vorgegebenen Zeitabständen abgelesen.

Die Streuung der ermittelten Werte betrug für die Bandgeschwindigkeit von 38 cm/s 2,6 % und für die Geschwindigkeit von 19 cm/s 4,12 %.

Mit geringer werdender Bandgeschwindigkeit werden die Wellenlängen der Aufzeichnungen auf dem Band kleiner und die Einflüsse infolge etwaiger Schichtinhomogenitäten treten stärker in Erscheinung. Die Spurbreite, in der die Schicht magnetisiert wird, wirkt sich in ähnlicher Weise wie die Veränderung der Bandgeschwindigkeit aus. Mit dem Übergang von der Halbspur zur Vollspur wird im Bereich einer Wellenlänge eine größere Fläche magnetisiert und damit ebenfalls der Einfluß der Schichtinhomogenität herabgesetzt.

Zur Untersuchung der kurzzeitigen Schwankungen wurden Registrierungen der vom Magnetbandgerät abgegebenen Wiedergabespannung mit einem Schleifenzosillographen vorgenommen (Bild 2).

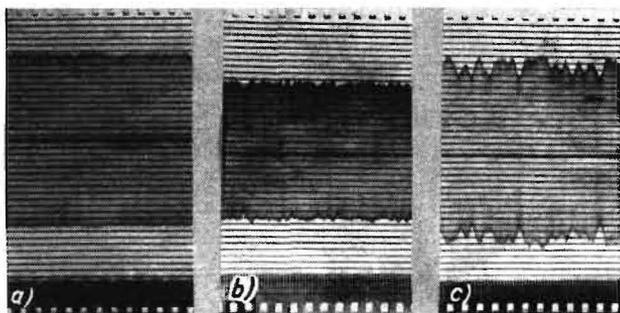


Bild 2. Oszillographische Aufnahme der Wiedergabespannung einer 5-kHz-Trägerfrequenz in Abhängigkeit von der Bandgeschwindigkeit; Zeitmarke: 500 Hz; a Bandgeschwindigkeit = 76 cm/s, b Bandgeschwindigkeit = 38 cm/s, c Bandgeschwindigkeit = 19 cm/s

In Abhängigkeit von der Bandgeschwindigkeit ergaben sich maximal folgende Fehler (Abweichungen vom Mittelwert):

$$\begin{aligned} v = 76 \text{ cm/s} &: f = \pm 5\% \\ v = 38 \text{ cm/s} &: f = \pm 8\% \\ v = 19 \text{ cm/s} &: f = \pm 20\% \end{aligned}$$

Es zeigt sich auch hier die Zunahme der Störmodulation mit abnehmender Bandgeschwindigkeit.

In einer weiteren Untersuchung wurde zur gleichzeitigen Erfassung der lang- und kurzzeitigen Amplitudenänderungen die vom Bandgerät abgegebene Ausgangsspannung einem elektronischen Klassiergerät, das versuchsweise als Einkanalgerät mit einstellbarer Meßwertgrenze am Institut für Landmaschinenbau gebaut wurde, zugeführt. Die Aufnahme und Wiedergabe der unmodulierten 5-kHz-Wechselspannung mit einer Bandgeschwindigkeit von 38 cm/s und einer Meßdauer von 20 min war mit einem Fehler von $\pm 8\%$ behaftet. Die Streuung der Amplituden der Wiedergabespannung betrug 3,7 %.

Als Ergebnis kann festgestellt werden, daß die mit den Bandgeschwindigkeiten 76 und 38 cm/s auf Halbspurbreite aufgenommenen und abgegebenen Meßwerte mit maximalen Fehlern von 4 bzw. 8 % behaftet sind. Die Streuungen liegen für die Bandgeschwindigkeiten von 76 und 38 cm/s unter 2 bzw. 4 %.

8. Schlußfolgerungen über die Anwendungsmöglichkeiten des Magnetbandverfahrens zur Meßwertaufzeichnung

Das Magnetbandverfahren bietet in bezug auf die Anwendung für Betriebsmessungen und die Möglichkeit der statistischen und der herkömmlichen Auswertung der Meßergebnisse folgende Vorteile:

- Es gewährleistet eine lange Meßdauer durch Registrierung der Meßwerte in Form eines Mikroschriebes. Die maximale Meßdauer beträgt bei Verwendung eines 500-m-Bandes und der Bandgeschwindigkeit von 38 cm/s 22 min.
- Die Mikroaufzeichnung auf Magnetbändern bringt ökonomische Vorteile gegenüber der Aufzeichnung auf Registrierpapieren. Wird eine gleiche Meßdauer vorausgesetzt, so sind die Kosten für die dafür benötigten Registrierpapiere (Oszillographenpapier) um ein Mehrfaches höher als für die erforderlichen Magnetbänder. Die Aufbewahrung der Magnetbänder ist bequemer und platzsparender als die der Registrierpapierrollen. Ist ein Aufheben nach der Auswertung nicht erforderlich, so können die Magnetbänder nach Löschen früherer Aufnahmen immer wieder verwendet werden.
- Das Magnetbandverfahren gestattet eine oftmalige Wiedergabe der gespeicherten Meßwerte in Form von elektrischen Werten, die mit Hilfe eines stationären Klassiergerätes statistisch ausgewertet werden können. Darüber hinaus ist es möglich, den Verlauf der Meßgröße von interessanten Stellen des Versuches ausschnittsweise vom Magnetband abzunehmen und mittels eines Oszillographen auf Registrierpapierstreifen aufzuzichnen. Dadurch kann von beliebigen Zeitpunkten der Messung eine Analyse des Meßwertverlaufes vorgenommen werden. Für Meßaufgaben, die eine solche Auswertung erfordern, ist die Magnetbandaufzeichnung vorteilhaft einzusetzen.
- Mit Hilfe des Magnetbandverfahrens ist es möglich, die Meßwerte mehrerer Meßstellen bzw. Komponenten gleichzeitig zu registrieren. Zu diesem Zweck muß ein Magnetbandgerät eingesetzt werden, das mit mehreren Kanälen ausgerüstet ist und die Meßwerte in verschiedenen Spuren nebeneinander auf ein breiteres Magnetband aufzeichnet. Die statistische Auswertung kann mit einem stationären Klassiergerät vorgenommen werden, indem die Meßwerte der verschiedenen Spuren nacheinander vom Band abgenommen und dem Klassiergerät zugeführt werden. (Eine direkte Klassierung mehrerer Meßkomponenten unter Ausschaltung der Registrierung scheidet wegen des hohen Geräteaufwands, der bei Verwendung mehrerer Klassiergeräte entstehen würde, aus. Für diese Anwendungsgebiete kommt der Mehrspuraufzeichnung auf Magnetbändern besondere Bedeutung zu). Die Mehrspuraufzeichnung wird im Ausland bereits in stärkerem Maße angewandt. Aus der Literatur sind z. B. Ausführungen von 14-Spur-Magnetköpfen zur gleichzeitigen Speicherung von 14 Signalen auf einem Magnetband bekannt (Bild 3).
- Das Magnetbandverfahren erlaubt, über ein Mikrofon Kommentare über besondere Ereignisse des Meßablaufes auf das Magnetband aufzusprechen. Ist ein Mehrkanalgerät vorhanden, dann kann diese Kommentierung zu jedem Zeitpunkt der Messung auf eine besondere Spur des Bandes aufgenommen werden. Damit wird gleichzeitig das Auffinden besonderer Stellen der Messung bei der Wiedergabe erleichtert.
- Der bei Feldmessungen erforderliche Aufwand an Geräten ist gering. Trägerfrequenzgenerator und Verstärker können in das Magnetbandgerät direkt eingebaut werden, so daß außer der Energiequelle keine weiteren Zusatzgeräte erforderlich sind. Der Leistungsbedarf eines Magnetbandgerätes ist niedrig. Er liegt bei 75 W und kann durch zwei in Reihe geschaltete 12-V-Batterien und einen Umformer gedeckt werden. Gegenüber einer direkten Klassierung mit einem Klassiergerät ist bei Feldmessungen der geringere Geräteaufwand und der niedrigere Leistungsbedarf der Magnetbandregistrierung von Vorteil und spricht für deren Anwendung.

Ein wesentlicher, dem Verfahren anhaftender Nachteil besteht in der Veränderung der elektrischen Meßwerte durch die sog. Störmodulation. Diese wird zum größten Teil durch Unregelmäßigkeiten des Magnetbandes, d. h. Änderungen der magnetischen und geometrischen Eigenschaften der magnetischen Schicht und durch Unvollkommenheiten des Laufwerkes und der Bandführung des Gerätes hervorgerufen.

Die Störmodulation, deren Größe u. a. von der Bandgeschwindigkeit und der magnetisierten Bandbreite abhängig ist, bringt eine Verfälschung der Meßergebnisse mit sich. Eine Erhöhung der Bandgeschwindigkeit von 38 cm/s auf 76 cm/s würde zwar eine Verbesserung der Wiedergabe bringen, gleichzeitig aber eine Verkürzung der Meßdauer auf 11 min

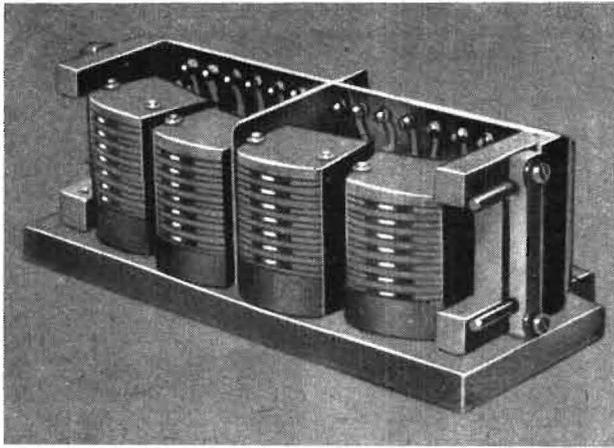


Bild 3. Beispiel für die Ausführung von Mehrspurköpfen (entnommen aus [7])

zur Folge haben. Deshalb erscheint es zweckmäßig, anstelle der Erhöhung der Bandgeschwindigkeit in der Spurbreite von der Halbspur zur Vollspur überzugehen.

Für eine niedrigere Bandgeschwindigkeit und größere Spurbreite sprechen ferner:

- der geringere Verschleiß am Band und an den Magnetköpfen,
- der bessere Gleichlauf des Bandes,
- der zum Antrieb erforderliche kleinere Motor und damit der geringere Leistungsbedarf.

Das Verfahren der Amplitudenmodulation wird wegen der auftretenden Störmodulation vielfach abgelehnt. Das aufwendigere Frequenzmodulationsverfahren, zu dessen Anwendung die amplitudenmodulierte Trägerspannung vor der Aufnahme in eine frequenzmodulierte Trägerspannung umgeformt und nach der Wiedergabe zurückverwandelt werden muß, ist zwar amplitudenunabhängig, setzt aber einen einwandfreien Gleichlauf, d. h. eine vollkommen konstante Bandgeschwindigkeit voraus. Der für dieses Verfahren notwendige apparative Aufwand ist beträchtlich.

9. Zusammenfassung

Die Anwendbarkeit des Magnetverfahrens zur Speicherung von elektrischen Meßwerten ist seit längerer Zeit bekannt. Die am Institut für Landmaschinentechnik durchgeführten Untersuchungen hatten zum Inhalt, eine funktionsfähige Meßeinrichtung zu entwickeln und zu erproben. Als Ergebnis kann festgestellt werden, daß die Speicherung von elektrischen Meßwerten auf Magnetbändern für eine Reihe von Meßaufgaben, die im vorstehenden Abschnitt angegeben wurden, vorteilhaft eingesetzt werden kann. Bei der Anwendung dieses Verfahrens ist jedoch zu berücksichtigen, daß mit den zur Zeit vorhandenen Magnetbändern nur eine begrenzte Genauigkeit der Wiedergabe der gespeicherten Meßwerte erzielbar ist. Die Streuungen der Amplituden, hervorgerufen durch die auftretende Störmodulation betragen für die Bandgeschwindigkeit von 70 cm/s 1 bis 2 % und für die Bandgeschwindigkeit von 38 cm/s 3 bis knapp 4 %.

Die Entscheidung über die Frage, ob man das Magnetbandverfahren künftig in größerem Umfang zur Speicherung von Meßwerten aus Betriebsuntersuchungen an Landmaschinen einsetzen können, hängt in hohem Maße von der Möglichkeit der Magnetbandhersteller ab, hochqualitative Magnetbänder zur Verfügung zu stellen. Gerätetechnisch lassen sich die Forderungen hinsichtlich der Aufzeichnungsgüte der Meßwerte weitgehend erfüllen. In manchen Fällen, in denen die angegebene Streuung in Kauf genommen werden kann, läßt sich das Magnetbandverfahren entsprechend seiner Vorteile gegenüber anderen Verfahren bereits mit den heute zur Verfügung stehenden Mitteln erfolgreich einsetzen.

Literatur

- [1] REGGE, H.: Zur statistischen Auswertung von Versuchsergebnissen. Deutsche Agrartechnik (1963) H. 1, S. 33 bis 36
- [2] ZSCHAAGE, F.: Gerät zur statistischen Auswertung von Diagrammstreifen. Archiv für Landtechnik (1960) H. 1, S. 66
- [3] ROGERS, C. / JEVONS, T.: An integrator for the rapid examination of continuous records. N.I.A.E. Tech. Memo 110 (Nov. 1954)
- [4] Forschungsbericht: Entwicklung spezieller elektronischer Meßeinrichtungen für Landmaschinenuntersuchungen. Institut für Landmaschinentechnik der TU Dresden (unveröffentlicht)
- [5] BAATZ, H. / MAIER, H.: Magnetbandschreiber zur Störungsaufzeichnung in Energieversorgungsnetzen. Elektronik (1957) H. 2/3, S. 51
- [6] MITTELSTRASS, K. A.: Das AGFA-Magnettonband, 2. Aufl. Halle 1958
- [7] MAIER, H.: Magnetband-Registrier- u. Speichergeräte. Elektronik (1955) H. 8, S. 177 u. S. 223

Bestimmung der Reibungszahl von Schüttgut auf schwingenden Flächen

Dr.-Ing. W. BALKIN*

Bekanntlich bietet die Bestimmung der Reibungszahl oder des Reibungswinkels von Schüttgut, insbesondere von Saatgut, erhebliche Schwierigkeiten. Schüttet man Körner auf ein Blech und beginnt dieses zu neigen, so rollen oder rutschen die ersten Körner bei recht geringen Neigungswinkeln abwärts, und die letzten halten sich noch sehr lange, oft bis zu einem Vielfachen des Winkels, bei dem die ersten Körner abrollten, auf dem Blech. Noch schwieriger ist die Bestimmung der Bewegungsreibung, weil sie sich bei Schüttgut aus der Gleitreibung und dem Rollwiderstand der einzelnen Körner zusammensetzt und von der Schichthöhe abhängt. Bei schwingenden Flächen ist außerdem noch die Art der Schwingungen in Betracht zu ziehen. Kurze und heftige geradlinige horizontale Schwingungen lockern das Schüttgut z. B. stärker auf als langsame und weite Schwingungen, wodurch die Reibungszahl ebenfalls beeinflußt wird.

Nach einem neu entwickelten Verfahren [1] läßt sich die Reibung von Schüttgut auf schwingenden Flächen mit einem maximalen Fehler von $\pm 10\%$ ermitteln. Erforderlich ist dazu eine Siebmaschine und ein Diagramm für die Abhängigkeit des Reibungswinkels ρ von der resultierenden

Relativgeschwindigkeit v_{res} , des Siebgutstroms auf der Siebfläche der Siebmaschine.

Der kinematische Kennwert

$$K = \frac{\omega^2 \cdot r}{g}$$

gibt das Verhältnis der maximalen Beschleunigung des schwingenden Siebes zur Schwerebeschleunigung an.

Hierbei ist

- $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$ Winkelgeschwindigkeit des Exzenters des Siebantriebes
- r Exzentrizität des Exzenters oder Schwingungsauslag des Siebes
- g Schwerebeschleunigung
- n Schwingungszahl des Siebes.

Die Saatgutbereiter „Gigant“ und „Super“ des VEB Petkus, Wutha, arbeiten mit einem Schwingungsauslag von $r = 8$ mm und einer Schwingungszahl von $n = 410 \text{ min}^{-1}$. Daraus ergibt sich der kinematische Kennwert $K = 1,5$.

Nach dem erwähnten Verfahren ist ein Diagramm für den Kennwert $K = 1,5$ und das Produkt $n \cdot r = 3,28 \text{ m/min}$ ($n = 410 \text{ min}^{-1}$, $r = 8$ mm), das für Petkus-Maschinen

* Institut für Landmaschinentechnik der Technischen Universität Dresden (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. GRÜNER)